

# オフセット形冷却フィン列内流れの可視化と伝熱機構に関する研究

著者	小林 崇
号	1054
発行年	1986
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/9790">http://hdl.handle.net/10097/9790</a>

氏 名	こ ばやし たかし 小 林 崇
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 62 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学専攻
学 位 論 文 題 目	オフセット形冷却フィン列内流れの可視化と伝熱機構に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 武山 斌郎
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 武山 斌郎      東北大学教授 太田 照和 東北大学教授 相原 利雄      東北大学教授 増田 英俊

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

プレートフィンを千鳥状に配置した，いわゆるオフセットフィン列型熱交換器は，良好な熱伝達特性を示すために，熱交換器としての小型高性能化に適している。したがってオフセットフィン列型熱交換器に関する研究は数多く行なわれて来ているが，大部分は実機による性能実験で，最適設計値を得ようとする研究は少ない。以上の観点から，本研究はオイルクーラーなどに代表される，作動流体（水あるいは高粘度油など）を冷却する目的のオフセットフィン列型熱交換器を想定した拡大モデルを製作し，流れの可視化，圧力損失係数測定実験，熱伝達率測定実験を行ない，フィンピッチあるいはフィン厚さを変化させた場合の最適値とその要因を明らかにしたもので，作動流体を冷却する目的のオフセットフィン列型熱交換器を設計する際の一つの指針を得ることを目的としている。

### 第 2 章 千鳥配列冷却円柱列まわりの流れと熱伝達

本章ではダクト内に千鳥状に配置した円管群により，供試液体であるグリセリン水溶液を冷却しない場合と，冷却する場合について，円管群管外流れを可視化し，冷却の影響について考察を行った。

図 1 に非冷却と冷却の場合について，熱交換部入口における混合平均温度によるレイノルズ数

Reinを一致させ、第1, 7, 9列それぞれの円柱まわりの流れを可視化したときのスケッチを示す。非冷却時にカルマン渦の生成と崩壊による遷移流の状態であった第7列円柱まわりの流れは、冷却時には、はく離を伴う層流状態になり、冷却により、乱れの増幅は抑制されることが示された。

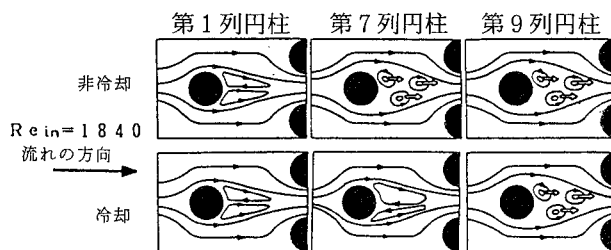


図1 円柱列まわりの流れの可視化  
(冷却の影響  $a = 40 \text{ mm}$ ) 供試液体—グリセリン水溶液

### 第3章 千鳥配列矩形平板列への対流熱伝達

#### (平板列の中の一平板により供試液体を冷却する場合)

本章では千鳥配列矩形平板列の中の一平板を供試測定平板として、供試液体である水を冷却し、比較的物性値変化の少ない平板列内流れについて、その流動特性、圧力損失特性、平板列への熱伝達特性、および総合性能特性を示して、他の研究者との比較を試みた。

実験装置は回流水槽型であり、試験部ダクトに、二重管構造を持つ矩形平板を千鳥状に挿入し、この二重管内に冷却剤を高速流動させることにより、伝熱面として近似等温壁の条件を満足させ、かつ供試液体を冷却する。

圧力損失特性は、平板を配置したダクトを直管ダクトとの損失水頭差に基づく圧力損失係数  $f$  より評価し、熱伝達特性は全数平均のコルバーンの  $j$  因子により評価している。

図2に平板の間隔が広い場合(A)

と狭い場合(B)における第1, 2, 3列それぞれの平板まわりの流れの可視化を示す。平板の間隔が広い場合、流れは第1列平板前縁でははく離し、後縁ははく離域内ではカルマン渦を放出し、遷移流へと移行する。以下後列の平板になるにつれて流れは乱流へと遷移し、いわゆる進化型の遷移を示す。これに対し、平板間隔が狭い場合、流れは第2列以降急激に乱流化し、激発型の遷移を示すのが特徴である。

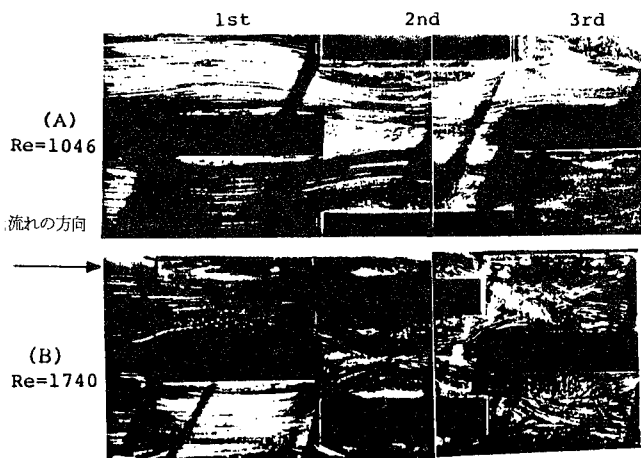


図2 流れの可視化写真の一例

図3にレイノルズ数  $Re$  に対する圧力損失係数  $f$  を示す。平板の間隔が狭いほど圧力損失は大きく、これは流速の増大につれて流れが偏り、はく離域が増大するためである。

図4にレイノルズ数  $Re$  に対するコルバーンの  $j$  因子を示す。平板の間隔が狭いほど熱伝達特性

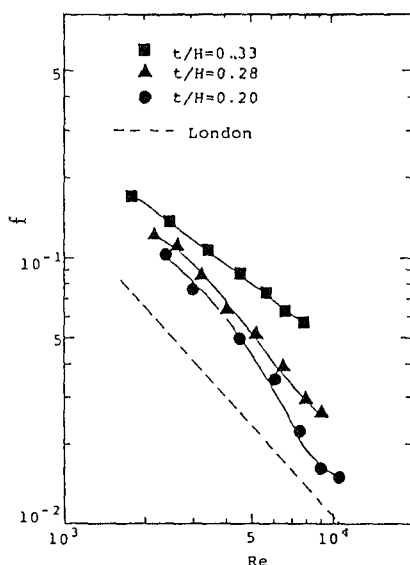


図3 Re に対する  $f$

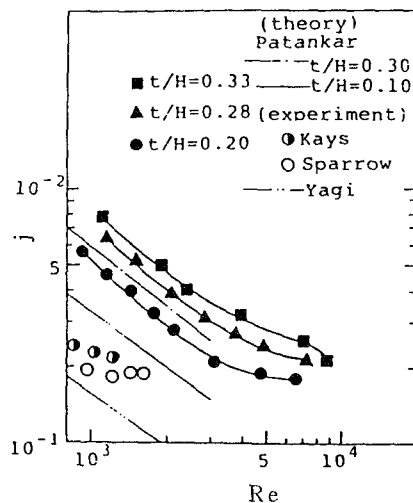


図4 Re に対する  $j$

は良好で、これは流れの加速と低レイノルズ数域での乱流化が原因である。

#### 第4章 千鳥配列矩形平板列への対流熱伝達

##### (全平板により供試液体を冷却する場合)

本章では、二重管構造を持つ矩形平板列全体を同時に使用して供試液体を冷却し、平板列まわりの流動特性、圧力損失特性、熱伝達特性について、平板を単独で冷却する場合と比較した。

図5は流れの可視化のスケッチの一例である。平板の単独冷却の場合、第2列から第26列平板まではく離を伴う層流域であるが、全体冷却の場合、第2列平板では主流とはく離域内の自然対流との干渉により、乱れが発生し、遷移流へと移行する。さらに、最後列の第26列、第27列平板では、供試液体の温度降下による粘度の増大のため、再び層流状態にもどった。すなわち、供試液体を冷却する目的の熱交換器内の流れは冷却量の増大に伴い、入口部での整流作用による層流化とはく離による急激な遷移流化、および後列部での供試液体の温度降下による動粘度の増加に伴う層流化と、非常に複雑になることが示された。

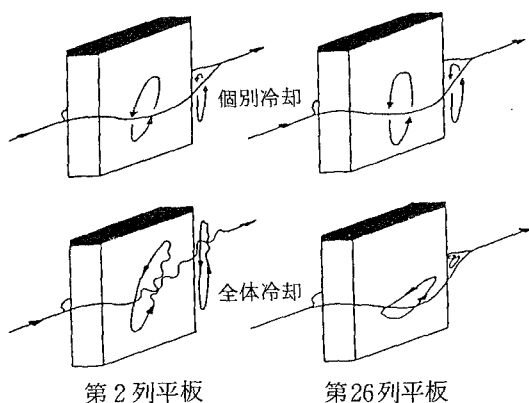


図5 流れの可視化スケッチ (3次元観察)

図6にレイノルズ数  $Re$  に対する圧力損失係数  $f$  を示す。全体冷却時と個別冷却の圧力損失係数  $f$  を比較すると、全体冷却時の  $f$  値は全般的に小さい。これは冷却量の増大に伴って圧力損失が軽

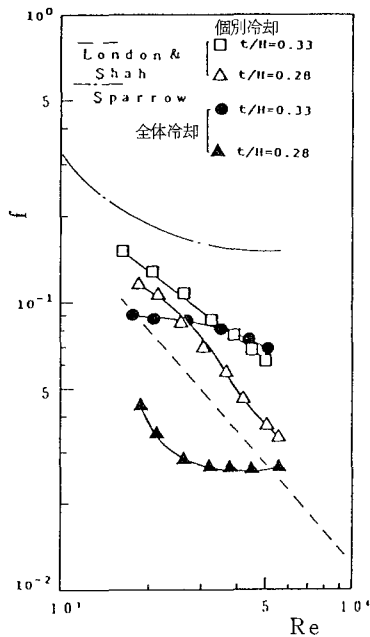


図6 Re に対する  $f$

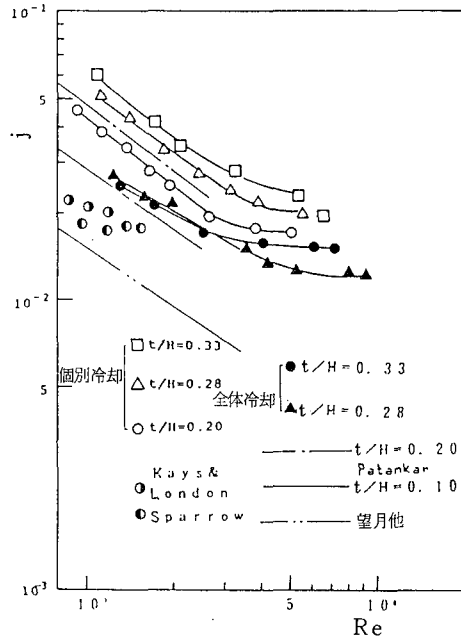


図7 Re に対する  $j$

減することを示しているが、これは熱交換量の増大に伴う自然対流による駆動力の増加が原因である。

図7にレイノルズ数  $Re$  に対するコルバーンの  $j$  因子を示す。全体冷却時と個別冷却時の  $j$  値を比較すると、全体冷却時の  $j$  値は低く、冷却量を増大させると熱伝達は劣化することを示している。これは前列の平板の後流の影響を受けるためである。

## 第5章 オフセット形冷却矩形フィン列まわりの流れと熱伝達

本章では近似等温面の千鳥配列矩形平板に関する実験から、実機に近い不等温面の矩形フィン列に関する実験へと研究を発展させて、流動特性、圧力損失特性、熱伝達特性、および総合性能特性について平板の場合と比較した。

流動特性は、フィンの厚みが大きいほど入口での整流作用による層流化と急激な乱流化、および後列フィンでの冷却による層流化と、複雑になることが示された。

圧力損失特性についてはフィンの厚みが小さいほど良好で、熱伝達特性についてはフィンの厚みが大きいほど良好である。また、圧力損失係数  $f$  とコルバーンの  $j$  因

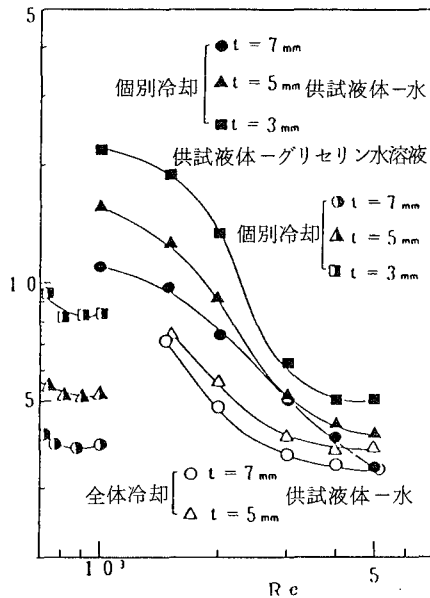


図8 Re に対する  $f/j$

子の比より総合性能を示すと、図8のように本実験の範囲ではフィンが厚いほど性能は良好であった。

## 第6章 オフセット形冷却フィン 列タイプの熱交換器にお ける最適幾何形状

本章では本論文の主旨として、第2章から第5章の結果をまとめて比較し、作動流体を冷却する目的のオフセットフィン列型熱交換器のフィン厚さ、あるいはフィンピッチを変えた場合の最適値とその要因について考察を加えた。

図9はオフセットフィン列形熱交換器の実用レイノルズ数範囲であるレイノルズ数  $Re$  が3000と5000の場合を抽出して、フィンのピッチ比  $t/H$  に対する  $j$  因子を示した図で、フィンピッチ比が増加するにつれてゆっくりと  $j$  因子は増加し、熱伝達特性が良好になることを示している。

図10はピッチ比  $t/H$  に対する圧力損失係数  $f$  を示した図で、ピッチ比が0.28以上で急激に  $f$  値が増加し、圧力損失特性が劣化することを示している。その結果として、図11のようにピッチ比  $t/H$  に対し、 $f$  と  $j$  の比  $j/f$  を示すと、ピッチ比が0.28近傍で  $j/f$  値が最大となり、ピッチ比0.28近傍に最適値があることが示された。

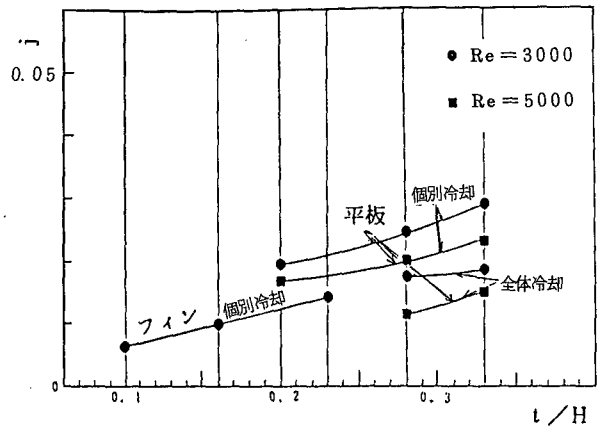


図9  $j$  に対する  $t/H$  の影響 (供試液体一水)

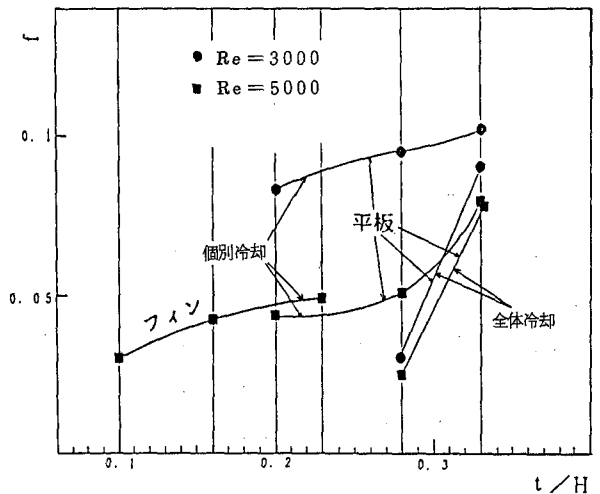


図10  $f$  に対する  $t/H$  の影響 (供試液体一水)

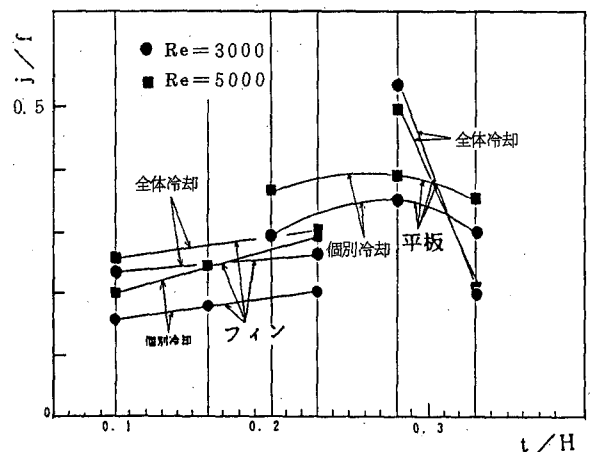


図11  $j/f$  に対する  $t/H$  の影響 (供試液体一水)

## 第 7 章 総 括

以上の結果を総合すると、供試液体を冷却する目的のオフセットフィン列型熱交換器の最適値として、極端にはく離域の規模が増大しない程度にフィンを密集させた場合の性能が最も良いことが示された。

## 審 査 結 果 の 要 旨

プレートフィンを千鳥状に配置したいわゆるオフセットフィン列の境界層は、フィン毎に分断されるために厚く発達することがなく、また、前列のフィンが乱流プロモータとして働くため、高い伝熱特性を示すことから、コンパクト熱交換器として広く利用されており、数多くの研究が見られる。しかし、境界層の挙動が、はく離、二次流れおよびそれに伴う乱流化、とくに高粘性流体が冷却される場合には層流化現象が加わるなど、従来の研究では必ずしも十分ではない。

本論文はオフセット冷却フィン列について、拡大モデルを用い、内部流れの様相とフィン列ごとの熱伝達、圧力損失および総合性能特性を求め、その最適形状について考察を加えたものであり、全編7章から成る。

第1章は序論である。

第2章では、千鳥状に配置した円管群の管外を流れる水および高粘性流体流れの可視化を行い、冷却による流れ場の変化と熱伝達特性との関連について考察している。すなわち、レイノルズ数の増加とともにカルマン渦の生成と崩壊による乱れが増大し、層流から遷移流へと移行し、熱伝達の促進となるが、高粘性流体では冷却によって乱れが減衰するため、下流側で層流化が生じ、熱伝達については劣化が起ることを明らかにしている。

第3章では、物性値の変化の少ない流動系を千鳥配列の矩形平板について実現し、厚みのある平板の間隔を狭くしていくと、低レイノルズ数域でも乱流化が生じ、伝熱促進が得られるが、極端に狭くなるとはく離の規模の増大により、圧力損失が大きくなることを明らかにしている。

第4章では、流体の物性値が大きく変化する場合の矩形平板列における冷却実験から、第1列平板で層流化し、第2列以降で急激に乱流化したのち、その後冷却により次第に層流化するという知見を得ている。同時に、自然対流の共存の影響を明らかにしている。

第5章は、伝熱面温度が高さ方向に変化するオフセット形冷却矩形フィン列についての冷却実験であり、流れを可視化し、熱伝達率と圧力損失による総合性能特性を明らかにしている。すなわち、水では遷移流へ移行し、高粘性流体では層流化し易く、フィンは厚いほど性能が良いという結果が得られている。

第6章では、本研究で得られた結果を総合的に比較検討することにより、冷却用オフセットフィン列の最適寸法について考察を加えている。すなわち、低レイノルズ数域では、乱流化による伝熱の促進効果が圧力損失の増大を上まわるため、極端にはく離域の規模が増大しない程度に、積極的にフィン列を密集させることを推奨している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、オフセットフィン列により液体を冷却する場合の、流れの乱流化と層流化およびそれに伴う熱伝達の促進・劣化の機構について新たな知見を加えたものであり、伝熱工学上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。